

## RADIAL ANISOTROPIC SINTERED MAGNET, ITS MANUFACTURING METHOD, AND MAGNET ROTOR AND MOTOR

**Publication number:** JP2004153867

**Publication date:** 2004-05-27

**Inventor:** SATO KOJI; KAWABATA MITSUO; MINOWA  
TAKEHISA

**Applicant:** SHINETSU CHEMICAL CO

**Classification:**

- **international:** B22F3/02; H02K1/16; H02K1/27; H02K15/03;  
H02K21/14; B22F3/02; H02K1/16; H02K1/27;  
H02K15/03; H02K21/14; (IPC1-7): H02K1/27; B22F3/02;  
H02K1/16; H02K15/03; H02K21/14

- **european:**

**Application number:** JP20020310880 20021025

**Priority number(s):** JP20020310880 20021025; JP20010334440 20011031;  
JP20010334441 20011031; JP20010334442 20011031;  
JP20010334443 20011031; JP20020259477 20020905

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2004153867

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a radial anisotropic sintered magnet which has excellent magnetic properties without cracks or cracking at sintering or aging cooling even in such a form that the inner-outer diameter ratio is small.

**SOLUTION:** This radial anisotropic sintered magnet contains a section which is formed cylindrical and oriented in a direction inclined at an angle of 30[deg.] or larger relative to the radial direction, not less than 2% and not more than 50% of a magnet volume, and the residual section of the magnet volume is oriented in the radial direction or with its inclination to the radial direction at angle of 30[deg.] or smaller.

**COPYRIGHT:** (C)2004,JPO

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

BEST AVAILABLE COPY



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

円筒状に形成されたラジアル方向に対し  $30^{\circ}$  以上傾いた方向に配向した部位の磁石体積の  $2\%$  以上  $500\%$  以下含有し、磁石体積の残りの部位がラジアル方向乃至ラジアル方向に対する傾きが  $30^{\circ}$  未満に配向したものであることを特徴とするラジアル異方性焼結磁石。

## 【請求項 2】

円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度  $5 \text{ kG}$  以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

10

## 【請求項 3】

水平磁場垂直成形で発生する磁場が  $0.5 \sim 1.2 \text{kOe}$  であることを特徴とする請求項 2 記載のラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

## 【請求項 4】

円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体をトータル角度  $20^{\circ}$  以上  $180^{\circ}$  以下の領域に亘り少なくとも 1 つ以上配した金型キャビティ内に充填した磁石粉を垂直磁場垂直成形法により磁石粉に磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

20

## 【請求項 5】

円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度  $5 \text{ kG}$  以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形する、及び、ラジアル異方性磁石を製造する方法であつては下記 (i) ～ (v) のいずれか 1 項記載の方法である。

(i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させると共に、磁場を印加する、

(ii) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する、

(iii) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させることで充填磁石粉を回転せしめることを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

30

## 【請求項 6】

充填磁石粉を回転させる際、コア、ダイス及びパンチのうち少なくとも 1 つを周方向に回転することで充填磁石粉を回転せしめることを特徴とする請求項 5 記載のラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

## 【請求項 7】

磁場印加後充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア又は磁石粉の残留磁化の値が  $50 \text{ G}$  以上であり、コアを周方向に回転させることで磁石粉を回転せしめることを特徴とする請求項 5 記載のラジアル異方性焼結磁石の製造方法。

40

## 【請求項 8】

水平磁場垂直成形工程で発生する磁場が、 $0.5 \sim 1.2 \text{kOe}$  であることを特徴とする請求項 5 乃至 7 のいずれか 1 項記載のラジアル異方性磁石の製造方法。

## 【請求項 9】

複数個のステータ歯を有するモータにラジアル異方性円筒磁石を組み込んでなる永久磁石モータにおいて、前記円筒磁石が、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度  $5 \text{ kG}$  以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製されたラジアル異方性円筒磁石。

50

筒磁石であつて、周方向の着磁極数が  $2n$  ( $n$  は 2 以上 5 以下 の 正の 整 数) 個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が  $3m$  ( $m$  は 2 以上 3 以下 の 正の 整 数) 個であり、かつ  $2n \neq 3m$  であることを特徴とする周方向に多極に着磁した永久磁石モータ。

【請求項1-10】 円筒磁石における周方向の着磁極数が、 $k$  ( $k$  は 4 以上の正の偶数) 個のとき、この円筒磁

石と組み合わせるステータの歯数が  $3k \cdot j / 2$  ( $j$  は 1 以上の正の整数) 個であることを特徴とする請求項 19 記載の永久磁石モータ。

【請求項1-1】前記の請求項1の電動工具の電動機を起動するための起動装置。

円筒磁石のN極とS極との境界が、ラジアル方向に対し $30^\circ$ 以上傾いた方向に配向した部位の中央部に対し、 $10^\circ$ 以内にあることを特徴とする請求項9又は10記載の永久磁石

石毛夕。主上落御之期。不以是日。而以他日。則無以成禮。請以是日。而以他日。則無以成禮。

円筒磁石のスキューアンペル数が円筒磁石の1極分の角度の $1/10 \sim 2/3$ で、多極スキューアンペル数を特徴とする請求項9乃至11のいずれか1項記載の永久磁石モータ。

ステータ歯のスキュー角度が円筒磁石の1極分の角度の1/2~2/3のスキュー歯をもつことを特徴とする請求項9乃至11のいずれか1項記載の永久磁石モータ。

【請求項14】前記13に記載する装置を用いて、その水平部に垂直磁場成形部を設けた場合に、水平磁場垂直成形で発生する磁場を $0.1 \times 10^{-2} \text{ kOe}$ として成形した磁石を使用したに

とを特徴とする請求項9乃至13のいずれか1項記載の永久磁石モータ。

円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 $15.0 \text{ kG}$ 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に

配向磁界を印加して成形作製され、これを多極着磁して得られたラジアル異方性円筒磁石の複数個を軸方向に2段以上積み重ねてなることを特徴とする多段長尺多極着磁円筒磁石

【請求項 1・6】】、このとき、各門筒磁石の積み重ね数を、(1は2以上10以下の正の整数)とするとき、各門筒磁石の

記載の多段長尺多極着磁円筒磁石(図-1)を用いて、各部の漏れ磁場を算出する。

【請求項17】前記の電動機の定子に、複数の多極着磁の極を有する複数の極靴を設けたもの。

n とが  $i = n/2$  の関係にある請求項 15 又は 16 記載の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ。

【請求項 18】円筒磁石の外周面に  $n$  極の多極着磁を行うに際し、1 極の角度を  $360/n^\circ$  とし、この

角度の  $1/1.0 \sim 2/3.$  の角度でスキューリ着磁されてなる請求項11, 5乃至17のいずれか  
1項記載の多段長尺多極着磁内筒磁石ロータ。

【請求項 19】  
請求項 15 乃至 18 のいずれか 1 項記載の多段長尺多極着磁門筒磁石ロータを用いること。

【発明の詳細な説明】

【010\_Ov1】  
【発明の属する技術分野】

本発明は、ラジアル異方性焼結磁石及びラジアル異方性焼結磁石の製造方法に関する。また、本発明は、サーボモータ、スピンドルモータ等の同期式永久磁石モータ用円筒磁石の製造方法に関する。

ータ及びこれを用いた永久磁石式モータの改良に関する。」

【従来の技術】

フェライトや希土類合金のような結晶磁気異方性材料を粉碎し、特定の磁場中でプレス成形を行つて作製される異方性磁石は、スピーカ、モータ、計測器、その他の電気機器等に広く使用されている。このうち特にラジアル方向に異方性を有する磁石は、磁気特性に優れ、自由な着磁が可能であり、またセグメント磁石のような磁石固定用の補強の必要もないため、ACサーボモータ、DCブラシレスモータ等に使用されている。特に近年はモータの高性能化にどもない、長尺のラジアル異方性磁石が求められてきた。

【0003】 例として、上パンチ 6 と下パンチ 7 の高さを示す。

ラジアル配向を有する磁石は、垂直磁場垂直成形法又は後方押し出し法により製造される。垂直磁場垂直成形法は、プレス方向より、コアを介して磁場を対抗方向から印加し、ラジアル配向を得ることを特徴とするものである。即ち、垂直磁場垂直成形法は、図2に示されるように、配向磁場コイル2において発生させた磁場をコア4及び5を介して対抗させ、コアよりダイス3を通過し、成形機架台1を経て循環するような磁気回路にて、充填磁石粉8をラジアル配向させるものである。なお、図中6は上パンチ、7は下パンチである。

10

【0004】 例として、上パンチ 6 と下パンチ 7 の高さを示す。

このように、この垂直磁場垂直成形装置において、コイルにより発生した磁界はコア、ダイス、成形機架台、コアとなる磁路を形成させている。この場合、磁場漏洩損失低下のため、磁路を形成する部分の材料には強磁性体を用い、主に鉄系金属が使われる。しかし、磁石粉を配向させるための磁場強度は、以下のようにして決まってしまう。コア径をB<sub>1</sub>、(磁石粉充填内径)、(ダイス径)をA<sub>1</sub>、(磁石粉充填外径)、(磁石粉充填高さ)をL<sub>1</sub>とする。

20

コアを通過した磁束がコア中央でぶつかり対抗し、ダイスに至る。コアを通過した磁束量はコアの飽和磁束密度で決定され、鉄製コアで磁束密度が20kG程度である。従って磁石粉充填内外径での配向磁場は、上部コアの通った磁束量を磁石粉充填部の内面積及び外面積で割ったものとなり、 $(B_1^2 / 2)^{1/2} \cdot 2.0 / (\pi \cdot B_1 \cdot L_1) = 1.0 \cdot B_1 / L_1$  (内周) 及び  $(B_1^2 / 2)^{1/2} \cdot 1.2 / 0.6 / (\pi \cdot A_1 \cdot L_1) = 1.0 \cdot 0.6 B_1^2 / (A_1 \cdot L_1)$  (外周) となる。

外周での磁場は内周より小さいので、磁石粉充填部すべてにおいて良好な配向を得るには、外周で10kOe以上必要であり、このため、 $1.0 \cdot B_1^2 / (A_1 \cdot L_1) = 1.0$ となり、従って、 $L_1 = B_1^2 / A_1$  となる。成形体高さは充填粉の高さの約半分で、焼結時に更に8割程度になるので、磁石の高さは非常に小さくなる。このようにコアの飽和が配向磁界の強度を決定するためコア形状により配向可能な磁石の大きさ即ち高さが決まってしまい、円筒軸方向に長尺品を製造することが困難であった。特に、径が小さな円筒磁石では非常に短尺品しか製造することができなかつた。

30

【0005】 例として、上パンチ 6 と下パンチ 7 の高さを示す。

また、後方押し出し法は設備が大掛かりで、歩留まりが悪く、安価な磁石を製造することが困難であった。

【名古屋市】

【0006】 例として、上パンチ 6 と下パンチ 7 の高さを示す。

このようにラジアル異方性磁石は、いかなる方法においても製造が困難であり、安く大量に製造することは更に難しく、ラジアル異方性磁石を用いたモータも非常にコストが高くなってしまうという不利があった。

40

【0007】 例として、上パンチ 6 と下パンチ 7 の高さを示す。

焼結磁石でラジアル異方性リング磁石を製造する場合、異方性化に伴い、焼結及び時効冷却過程において、磁石のC軸方向とC軸垂直方向との線膨張係数の差により発生する応力が磁石の機械的強度より大きい場合、割れやクラックが発生し問題となる。このため、R—Fe—B系焼結磁石では内外径比0.6以上の磁石形状でのみ製造が可能であった（日本立金属技術報V.O.1.6,p33~36）。更に、R—(Fe;Co)—B系焼結磁石では、Feを置換したCoは合金組織中主相の2-14-1相に含まれるだけでなく、Rリッチ相中でR<sub>3</sub>Coを形成し、機械的強度を著しく低減する。しかもキュリー温度が高いため、冷却時のキュリー温度～室温間におけるC軸方向及びC軸垂直方向の熱膨張率変化量も大きくなり、割れ、クラックの発生原因である残留応力が増大する。このためR—(F 50

e., Co) 一二 B 系ラジアル異方性リング磁石は Co の入らない R.-Fe.-B 系磁石より更に形状制限が厳しく、内外径比 0.9 以上の形状でしか安定した磁石生産が行えなかつた。また、フェライト磁石、Sm-Co 系磁石においても同じ理由により、割れ、クラックが発生し、安定生産できていない状態である。

【00058】(1) 周方向の応力は、周方向熱膨張率の差によるラジアル異方性化に伴う焼結及び冷却過程で発生する割れ又はクラックの原因となる。周方向の残留応力は、フェライト磁石に関する Koo.1.s の検討結果 (F. Koo.1.s : Science of Ceramics Vol. 7, (1973), 29-45) に示され、式 (1) のように表される。

$$\sigma_{\theta} = \Delta T / \Delta \alpha E K^2 / ((1 - K^2) (\beta_k \eta^{K-1} - \beta_{-k} \eta^{-K-1}) - 1) \quad 10$$

… (1)  $\sigma_{\theta}$  : 周方向の応力  
 $\Delta T$  : 溫度差

$\Delta \alpha$  : 線膨張係数の差 ( $\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}$ )

E : 配向方向のヤング率

K<sup>2</sup> : ヤング率の異方性比 ( $E_{\perp} / E_{\parallel}$ )

$\eta$  : 位置 ( $r / \text{外径}$ )

$\beta_k$  :  $(1 - \rho^{1+k}) / (1 - \rho^{2-k})$

$\rho$  : 内外径比 (内径 / 外径)

【0.009】

上記式のうち、割れ又はクラックの原因に最も大きな影響を与える項は、 $\Delta \alpha$  : 線膨張係数の差 ( $\alpha_{\parallel} - \alpha_{\perp}$ ) であり、フェライト磁石、Sm-Co 系希土類磁石、Nd-Fe-B 系希土類磁石では、結晶方向による熱膨張率の差 (熱膨張異方性) はキュリー温度より発現し、冷却時の温度低下により増大する。このとき、残留応力が磁石の機械強度以上となり、割れに至る。

【0010】

上記式による、配向方向と配向方向に垂直な方向における熱膨張の違いによる応力は、円筒磁石が、径方向にラジアル配向するがゆえに発生する。従って、一部がラジアル配向と異なる配向を有する円筒磁石を製造すれば割れが発生することはない。例えば、水平磁場垂直成形法により作製された、円筒軸に垂直な一方に向か配向させた円筒磁石は、フェライト磁石、Sm-Co 系希土類磁石、Nd-Fe-(Co)-B 系希土類磁石のどのタイプの磁石においても割れることはない。

【0011】(1) 周方向の応力は、周方向熱膨張率の差によるラジアル異方性磁石を用いずとも円筒磁石に多極着磁が行え、磁束密度が高く、かつ極間における磁束密度のばらつきが小さければ、高性能の永久磁石モータ用の磁石となりうる。水平磁場垂直成形法により、円筒軸に垂直な一方に向か配向させた磁石を、着磁のみを多極にすることにより、ラジアル異方性磁石を用いずに永久磁石モータ用円筒多極磁石を作製する方法が提案されている (電気学会マグнетイクス研究会資料 MAG-8.5-120, 1985.5.20)。水平磁場垂直成形法により、作製された、円筒軸に垂直な一方に向か配向させた磁石 (以下、径方向配向円筒磁石と呼ぶ) は、プレス機のキャビティが詰すかぎりの長尺化 (50 mm 以上) に加えて多連プレスが行えるので、一度のプレスで多数個の成形体が得られ、高価なラジアル異方性磁石の代わりに廉価にモータ用円筒磁石を供給することができる。

【0012】(1) 周方向の応力は、周方向熱膨張率の差によるラジアル異方性磁石を用い、しかし、実際には水平磁場垂直成形法により作製された径方向配向の円筒磁石に多極着磁を行った磁石は、配向磁場方向近傍の極では磁束密度が高く、配向磁場方向に垂直な極では磁束密度が小さいため、モータに組みモータを回転させると、極間の磁束密度のばらつきを反映したトルクむらが生じてしまい、実用に耐えうるモータ用磁石とはいえない。

【0013】

この課題を解決するために、特許文献1では、水平磁場垂直成形法によって作製された、円筒軸に垂直な一方に向か配向された円筒磁石における周方向の着磁極数が $2n$  ( $n$ は1より大きく50より小さい正の整数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯の数が $3m$  ( $m$ は1より大きく33より小さい正の整数)個とする提案がなされている。特許文献2では、着磁極数が $k$  ( $k$ は4以上の正の偶数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3^j k + j / 2$  ( $j$ は1以上の正の整数)個とする提案がなされている。また、特許文献3では、円筒軸に垂直な一方に向か配向された円筒磁石で角度をずらして段積みすることでトルクむらを軽減する提案がなされている。

[ 0 0 1 4 ]

しかし、特許文献1～3とも、トルクむらは低減するものの、リング磁石内で径方向に配向した部分が少なく、同じ磁気特性を有するラジアル磁石に対し、モータにした際のドライバトルクが70%と小さく、実用化されていない。

[ 0 0 1 5 ]

### 【特許文献 1】

特開 2000-116089 号公報

## 【特許文献2】

特開 2000-116090 号公報

【特許文献3】

特開 2000-175387 号公報

### 【非特許文献 1】

日立金属技報 Vol. 11 / No. 6, 1983

【非特許文献2】[F. Kolloitsch-Schönauer et al., "Ceramic composite products based on](#)

Vol. 1, #7, May 1981

### 【非特許文献 3】

電気学会マグネティクス研究会資料

M A G - .8 5 ) -

従つて、本発明の第1の目的は、内外径比の小さな形状においても焼結及び時効冷却時の $\alpha-30$ 割れ、クラックのない優れた磁石特性を有するラジアル異方性焼結磁石を提供することにある。

また、本発明の第2の目的は、多連、長尺品が容易に生産可能で、高性能の永久磁石モータを安価に実現することができるラジアル異方性焼結磁石の製造方法を提供することにある。

本発明の第3の目的は、安価でかつ高性能の永久磁石モータを提供することにある。本発明の第4の目的は、ラジアル異方性磁石を用いずに多極着磁が行え、磁束密度が高く、かつ極間の磁束密度のばらつきが小さく、モータに組み込み回転させたとき、高トルクでかつトライグむらを生じることのない、廉価で大量生産可能な多段長尺多極巣磁円筒磁石モータ及びこれを用いた永久磁石式モータを提供することにある。

$[0 \ 0 \ 1 \ 7]$

【課題を解決するための手段及び発明の実施の形態】  
本発明は第1の目的を達成するため、円筒状に形成され、ラジアル方向に対し30°以上

傾いた方向に配向した部位を磁石体積の2%以上50%以下含有し、磁石体積の残りの部位がラジアル方向乃至デジタル方向に対する傾きが30°未満に配向したものであることを特徴とするラジアル異方性焼結磁石を提供する。また、「かかる磁石を得る方法として、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度 $5\text{ k.G.}$ 以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法を提供する。この場合、水平磁場垂直成形で発生する磁場が $0.5 \sim 12\text{ kOe}$ であることが好

ましい。更に、本発明は、円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体をトータル角度20°以上180°以下の領域に亘り少なくとも1つ以上配し、金型キャビティ内に充填した磁石粉を垂直磁場垂直成形法により磁石粉に磁界を印加して成形することを特徴とするラジアル異方性焼結磁石の製造方法を提供する。

【0018】即ち、本発明者らは、上記目的を達成するために鋭意努力を重ねた結果、円筒磁石の径方向への配向を、全体的にラジアル配向として一部分意図的に乱すことで、焼結・時効時の冷却過程において、割れ・クラックの発生のない安定した生産を実現でき、尚且つモータに組み込んだ際、大きなトルクを得ることができることを見出したものである。

【0019】10

本発明によれば、磁場が均一で内外径比の小さな形状においても、焼結及び時効冷却時の割れ、クラックのない、優れた磁石特性を有するR-Fe(Co)-B系ラジアル異方性焼結磁石を安定して生産でき、これはACサーボモータ、DCブラシレスモータ、スピーカ用磁石等の高性能化、ハイスパワー化、小型化等に有用であり、特に、自動車用スロットルバルブ等に使用される径方向2極着磁磁石の生産においても有効であり、性能の優れた同期式磁石モータ用円筒磁石を安価かつ大量に供給することができる。

【0020】20

また、本発明は、第2の目的を達成するため、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度5kG以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形することにより、ラジアル異方性磁石を製造する方法であって、下記(i)～(v)の操作手順を組み立てる。

(i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる。  
 (ii) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する。  
 (iii) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる。

(iv) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する。  
 (v) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する。

この操作のうち少なくとも一つの操作を行ふことを特徴とするラジアル異方性磁石の製造方法を提供する。ここで、充填磁石粉を回転させる際、コア、ダイス及びパンチのうち少なくとも1つを周方向に回転することで充填磁石粉を回転せしめることができる。また、磁場印加後充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア又は磁石粉の残留磁化の値が50G以上であり、コアを周方向に回転することで磁石粉を回転せしめることができる。この場合、水平磁場垂直成形工程で発生する磁場が0.5～1.2kOeであることが好ましい。

【0021】30

この第2の発明によれば、生産性が低く高価なラジアル異方性磁石を用いずに、多連、長尺品が容易に生産可能で、磁場が均一で安価で大量に安定して供給できる、水平磁場垂直成形法で製造される径方向配向円筒磁石を用いて高性能の永久磁石モータを実現することができ、ACサーボモータ、DCブラシレスモータ等の高性能モータの低価格化に有用である。

【0022】40

本発明は、第3の目的を達成するため、複数個のステータ歯を有するモータにラジアル異方性円筒磁石を組み込んでなる永久磁石モータにおいて、前記円筒磁石が、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度5kG以上を有する強磁性体を用い、金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製されたラジアル異方性円筒磁石であって、周方向の磁極数が $2n$ (nは2以上50以下の正の整数)個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3m$ (mは2以上33以下の正の整数)個であり、かつ $2n \neq 3m$ であることを特徴とする。

周方向に多極に着磁した永久磁石モータを提供する。この場合、円筒磁石における周方向の着磁極数が  $k$  ( $k$  は 4 以上の正の偶数) 個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が  $3k \geq j/2$  ( $j$  は 1 以上の正の整数) 個であることが好ましく、また、円筒磁石の N 極と S 極との境界がラジアル方向に対し  $30^\circ$  以上傾いた方向に配向した部位の中央部に対し、 $10^\circ$  以内にあることが好ましい。更に、円筒磁石のスキューアngleが円筒磁石の 1 極分の角度の  $1/1.0 \sim 2/3$  で、多極スキューアngle着磁するのが好ましく、特にステータ歯のスキューアngleが円筒磁石の 1 極分の角度の  $1/1.0 \sim 2/3$  のスキューアngle歯をもつことが好ましい。また、更に水平磁場垂直成形で発生する磁場を  $0.5 \sim 1.2$  k.Oe として成形した磁石を使用することが好ましい。

## 【0023】

本発明によれば、性能の優れた同期式磁石モータに用いる円筒磁石を、特に長尺でかつ廉価で大量に供給することができる。

## 【0024】

本発明は、第 4 の目的を達成するため、円筒磁石用成形金型のコアの少なくとも一部の材質に飽和磁束密度  $54$  k.G 以上を有する強磁性体を用い、成形金型キャビティ内に充填した磁石粉を水平磁場垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して成形作製され、これを多極着磁して得られたラジアル異方性円筒磁石の複数個を軸方向に 2 段以上積み重ねてなることを特徴とする多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを提供する。この場合、円筒磁石の積み重ね数を  $i$  ( $i$  は 2 以上 10 以下の正の整数) とするとき、各円筒磁石の配向磁場方向と同一方向を  $180^\circ \pm 1^\circ$  の角度だけずらして積み重ねることが好ましく、また、多極着磁の極数を  $n$  ( $n$  は 4 以上 50 以下の正の整数) とするとき、積み重ね数  $i$  と極数  $n$  が  $i = n/2$  の関係にあることが好ましい。更に、円筒磁石の外周面に N 極の多極着磁を行って隙間に 1 极の角度を  $360^\circ/n$  とし、他の角度の  $1/1.0 \sim 2/3$  の角度でスキューアngle着磁されてなることが好ましい。本発明は、上記多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを用いた永久磁石式モータをも提供する。

## 【0025】

即ち、上記構成どするごとににより、極間の磁束密度のばらつきを大きく軽減し、最高トルクでトルクむらのないスムーズな回転を実現できるモータ用磁石、即ち、多段長尺多極着磁円筒磁石ロータ及びこれを用いた永久磁石式モータの製造を可能としたものである。

## 【0026】

以下、本発明につき更に詳しく述べる。本発明によれば、上述した式 (1) で示されるように、本発明に係るラジアル異方性焼結磁石は、円筒磁石であって、全体的にはラジアル方向 (径方向) に配向され、但し、磁石体積の 2% 以上 50% 以下の部位がラジアル方向に対し  $30^\circ$  以上  $90^\circ$  以下配向するようにしてある。

## 【0027】

本発明のラジアル異方性焼結磁石は、このようにラジアル方向に対し  $30^\circ \sim 90^\circ$  傾いた方向に配向された部位が磁石体積の 2 ~ 50 % であるものである。

## 【0028】

即ち、上述した式 (1) で示される応力は、径方向にラジアル配向した周方向への連続体、つまり、円筒磁石であるがゆえに発生する。従つて、一部分連続的な配向が阻害されれば応力は減少する。そこで、ラジアル方向に対し  $30^\circ$  以上傾いた方向に配向した部位を磁石体積の 2 % 以上 50 % 以下含有せしめることにより、割れずに生産できる磁石である。 $30^\circ$  以上傾いた部分が 2 % より小さい場合、割れを防ぐ効果が小さく、 $30^\circ$  以上傾いた部分が 50 % より多い場合は、モータ用ロータとした際のトルク不足を招き実用的でない。より好ましくは  $30^\circ$  以上傾いた部分を 5 ~ 40 %、更に好ましくは 10 ~ 40 % 含有することがよい。

## 【0029】

なお、残りの磁石体積部位、即ち 50 ~ 98 %、より好ましくは 60 ~ 95 % の磁石体積の部分は、ラジアル方向乃至ラジアル方向に対する傾きが  $30^\circ$  未満であるように配向せしめられているものである。

## 【0030】

図1は、円筒磁石の成形時、磁場中配向を行うための水平磁場垂直成形装置の説明図であり、特にモータ用磁石の水平磁場垂直成形装置である。ここで、図2の場合と同様、1は成形機架台、2は配向磁場コイル、3はダイスを示し、また5aはコアを示す。6は上パンチ、7は下パンチ、8は充填磁石粉であり、また9はポールピースを示す。

## 【0031】

本発明においては、上記コア5aの少なくとも一部、好ましくは全体を飽和磁束密度5 kG以上、好ましくは5～24 kG、更に好ましくは10～24 kGの強磁性体にて形成する。かかるコア材質としては、Fe系材料、Co系材料及びそれらの合金材料等の素材を用いた強磁性体が挙げられる。

## 【0032】

このように、飽和磁束密度5 kG以上有する強磁性体をコアに使用すると、磁石粉に配向磁界を印加する場合、磁束は強磁性体に垂直に入ろうとするためラジアルに近い磁力線を描く。従って、図3aに示されるように、磁石粉充填部の磁界方向をラジアル配向に近づけることができる。これに対し、従来はコア5b全体を非磁性又は磁石粉と同等の飽和磁束密度を有した材料を用いており、この場合、磁力線は図3bに示したように互いに平行で、図において中央付近はラジアル方向であるが、上側及び下側に向らばつてコイルによる配向磁場方向となる。コアを強磁性体で形成してもコアの飽和磁束密度が5 kG未満の場合、コアは容易に飽和してしまい、強磁性コアを用いたにもかかわらず、磁場は図3bに近い状態となる。加えて、5 kG未満では充填磁石粉の飽和密度(磁石の飽和磁束密度×充填率)と等しくなり、充填磁石粉及び強磁性コア内での磁束の方向はコイルの磁界方向に等しくなってしまう。

## 【0033】

また、コアの一部に5 kG以上の強磁性体を用いた際も上記と同様な効果が得られ有効であるが、全体が強磁性体であることが好ましい。一部(中央部)が強磁性体及び外周部が弱い強磁性体(WC-Ni-Co系)である一例を図4に示す。図4において、5aは弱い強磁性体超硬合金部、11はパームシングルを示す。

## 【0034】

上記方法によると、円筒磁石内の径方向でのラジアル配向に対する乱れは、配向磁場方向に垂直な部分のみの配向の乱れとなるため、着磁後、各極の磁束量減少はわずかに抑えることができ、モータのトルクむら及びトルク劣化のないモータローダ用円筒磁石を製造することができる。

## 【0035】

また、上記のように成形を行なう際、水平磁場垂直成形装置で発生する磁場は0.15～1.2 kOeであることが好ましい。このように水平磁場垂直成形装置で発生する磁場を定めた理由としては、磁場が大きい場合、図3aのコア5aが飽和してしまい、図3bに近い状態になり、円筒磁石の磁場垂直方向での配向がラジアル配向とはならなくなるため、磁場は1.2 kOe以下が好ましい。強磁性コアを用いると磁束がコアに集中するため、コア周辺では、コイルによる磁場より大きな磁場が得られる。しかし、磁場があまり小さないと、コア周辺においても配向に十分な磁場が得られなくなるため、0.15 kOe以上が好ましい。前述のように強磁性体周辺では磁束が集まり、磁場が大きくなるため、ここでいう水平磁場垂直成形装置で発生する磁場とは、強磁性体から十分に離れた場所における磁場又は強磁性コアを取り除いて測定したときの磁場の値を意味する。従って、更に好ましくは1～1.01 kOeであることがよい。

## 【0036】

更に、本発明においては、図2に示したような垂直磁場垂直成形装置において、円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体をトータル角度20°以上180°以下、特に30°～120°の領域に亘り少なくとも1つ以上配することが好ましい。

## 【0037】

図5は垂直磁場垂直成形装置におけるラジアル円筒磁石用成形金型のダイス材に非磁性体

(例えば非磁性超硬材等) 10を、角度 $\theta = 30^\circ$ の領域(ダイス円筒 $360^\circ$ のうち $30^\circ$ にあたる領域)で対称に2側配した垂直磁場垂直成形装置を示す。なお、非磁性体近傍の磁力線は強磁性体に向かって曲げられる。特に非磁性体と強磁性体の境に存在する強磁性体エッジの方向に曲げられる。磁石粉は曲げられた磁力線の方向に配向するため、求める磁石が得られる。このときの非磁性体配角度が $2\cdot0^\circ$ 未満であると磁力線が曲げらるる効果が小さく、加えて配向方向が径方向に対し $30^\circ$ 以上傾いた領域が少くなり、割れを抑える効果が小さい。また、 $1\cdot80^\circ$ より大きい場合はラジアル配向が阻害され、目的にたる磁石とはならない。

この場合、図5において、1は成形機架台、3はダイス、4はコア、8は充填磁石粉であることは、図2の場合と同様である。また、ダイス3における上記非磁性体(10)以外の材質は、 $5\text{ kG}$ 以上の強磁性体にて形成する。更に、コア材は $10\text{ kG}$ 以上の強磁性体にて形成することができる。

【0038】ここで、金型のコア5-aの少なくとも一部は、好ましくは全体を饱和磁束密度 $5\text{ kG}$ 以上ところで、強磁性体で形成した。上記のように水平磁場垂直成形を行う場合、なお、この方法では、コイルによる配向磁場方向に対し $90^\circ$ である方向では、ラジアル配向とならない場合がある。磁場中に強磁性体がある場合、磁束は強磁性体に垂直に入ろうとし強磁性体に引き寄せられるため、強磁性体の磁場方向面では、磁束密度が上昇し、垂直方向では、磁束密度が低下する。このため、金型内に強磁性コアを配した場合、充填磁石粉において強磁性コアを印加する部では強い磁場により良好な配向が得られ、垂直方向部ではあまり配向しない。磁場印加部では強い磁場により発生磁場に対し相対的に回転させ、不完全配向となる。これを補うために磁石粉をコイルによる発生磁場で再度配向することで良好な磁石が得られる。

## 【0039】

ここで、磁石粉をコイルによる発生磁場に対し、相対的に回転させる方法としては以下記す。  
(i) 磁場印加中、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させる。  
(ii) 磁場印加後、磁石粉を金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する。

(i) 磁場印加中、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する。  
(ii) 磁場印加後、磁場発生コイルを磁石粉に対し金型周方向に所定角度回転させ、その後再び磁場を印加する。

(v) 磁場発生コイルを2対以上配置し、1対のコイルが磁場を印加した後、別のコイルが磁場を印加する。この操作を一回又は繰り返して複数回行うものである。

【0040】充填磁石粉の回転については、図6で示すように磁石粉をコイルによる発生磁場方向に対し、相対的に回転できれば、コイル2、コア5-a、ダイス3、ソシンチ6、7のいずれかを回転させてもよい。このうち特に、磁場印加後、充填磁石粉を回転させる際、強磁性コア又は磁石粉の残留磁化を $5\cdot0\text{ G}$ 以上、特に $2\cdot0\text{ G}$ 以上存在させておけば、磁石粉は強磁性コアとの間に磁気的な吸引力が発生するため、強磁性コアを回転させるだけで磁石粉も回転させることができる。

【0041】回転角度については適宜選定されるが、当初の位置を $0^\circ$ とした場合、好ましくは $1\cdot0^\circ$ ～ $1\cdot70^\circ$ 、特に $60^\circ$ ～ $120^\circ$ の範囲、典型的には $90^\circ$ 前後で、磁場印加中に回転させる場合は、徐々に所定角度回転させ、磁場印加後に回転させる場合は、所定角度回転させた後に再度磁場を印加するものである。

【0042】本発明は、上記のように成形するものであるが、それ以外は通常の垂直成形法により磁石粉に配向磁界を印加して、一般的な成形圧 $0\cdot5\sim2\cdot0\text{ t/cm}^2$ で成形し、更に焼結

、時効処理、加工処理等を施し、焼結磁石を得ることができる。

【0043】なお、磁石粉としては、特に制限されるものではなく、Nd-E-Fe-B系の円筒磁石を製造する場合に好適であるほか、フェライト磁石、Sm-Co系希土類磁石、各種ボンド磁石等の製造においても有効であるが、いずれも平均粒径 $0.1 \sim 100 \mu\text{m}$ 、特に $0.3 \sim 50 \mu\text{m}$ の合金粉を用いて成形するものである。

【0044】本発明においては、このようにして得られた円筒磁石に対し、その外周面を多極着磁する。ここで、図7は、着磁機2.2を用いて円筒磁石2.1の着磁を行う様子を示している。なお、符号2.3は着磁機磁極歯であり、符号2.4は着磁機コイルである。  
10

#### 【0045】

本発明による水平磁場垂直成形にて製造されるラジアルライクな径方向配向円筒磁石を図7の着磁機にて6極着磁を行った際の表面磁束密度を図11に示す。また、図12は従来の製法で作られた径方向配向円筒磁石に図7の着磁機により6極着磁を行った際の表面磁束密度図である。従来の水平磁場垂直成形法により径方向配向円筒磁石を作製し、配向磁場方向がN、S極となるよう6極着磁を行うと、配向方向のA、Dでは表面磁束密度が大きく、配向方向と $90^\circ$ の角度をなす方向に近いB、C、E、Fの配向方向では小さな表面磁束密度となる。そればかりか、同じ角度幅を持つ着磁機具を用いて着磁を行ったにもかかわらず、着磁幅は方向により大きく異なる。これに対し、本発明品では、B、C、E、Fのピーク値において上昇がみられ、表面磁束が0となるところでの着磁幅もほぼ一定となる。しかし、表面磁化が大きい位置でA、Dに比べB、C、E、Fはとがった形状となっている。磁束量はピーカー面積が大きいほど大きいので、A、Dに比べB、C、E、Fは小さくなってしまう。各極間における磁束量のばらつきはモータに組み込まれた際の回転むらになり、振動、騒音の原因となる。従つて、この各極間の磁束量のばらつきを低減することで、むらの無いスムーズな回転が行える。

【0046】図10は、9個のステータ歯（ステータタウス）を有する3相モータの平面図を示したものである。3相モータ3.0は、 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ のステータ歯3.1が $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ の順に配列し、その配線がステータ歯をコイル状に巻きながらつながり、U、V、W相としてモータの入力線となる。このU、V、W相に電流を流してコイル3.2に磁場を発生させ、コイルによる磁場と円筒磁石2.1との間に働く斥力及び引力によりモータは回転する。U-V、V-W、W-Uはそれぞれ総ステータ歯数の $1/3$ の数の歯を割っており、U-Vに電流が流れるとステータコアの $\alpha$ により磁場が発せられ、同様にV-Wにより $\beta$ 、W-Uにより $\gamma$ によりそれ磁場が発生する。図10は、このような歯数9個のステータを有する3相モータに、6極に着磁を行った径方向配向円筒磁石2.1を組み込んだものである。なお、図中の3.3はモータロータ軸である。  
30

【0047】図中において、U-V ( $\alpha$ ) が磁石の極の中心に位置し、モータトルクのピークとなる。この際、U-V ( $\alpha$ ) と作用し、回転力を生じる極はA、C、E極であり、A極は配向磁場方向極であり、磁束量が大きく、C及びEは配向磁場方向とはずれた角度に位置する極であり、磁束量は小さい。次に、磁石が回転し、U-V ( $\alpha$ ) にD、F、B極が近づく。D極は配向磁場方向の極であり、磁束量が大きく、F及びBは配向磁場方向とはずれた角度に位置する極であり、磁束量は小さい。しかし、磁石極数6の $3/2$ 倍の9個の歯を有するがために、U-V ( $\alpha$ ) のコイルに鎖交する磁束量はA、C、E極分合わせたものとD、F、B極分合わせたものでは常に等しくなる。この関係はV-W ( $\beta$ ) 、W-U ( $\gamma$ )においても同様である。この場合、円筒磁石における着磁極数が $k$  ( $k$ は4以上の正の偶数) 個のとき、この円筒磁石と組み合わせるステータの歯数が $3k+j/2$  ( $j$ は1以上の正の整数) 個であることがよく、特に上記のように、磁石の極とモータのステータの歯数の組み合せを磁石極数 $k=6$ 、歯数 $3k+j/2=9$  ( $k=6$ 、 $j=1$ ) の組み合せとすることで、磁石に配向磁場方向の極と配向磁場方向からずれた極が存在し、磁束  
40

磁にはらつきがある円筒磁石においても、磁束はらつきが緩和され、回転むらのないモータを得ることができる。なお、 $k$ は好ましくは 50 以下、更に好ましくは 40 以下の偶数であり、「 $j$ 」は好ましくは 10 以下、更に好ましくは 5 以下の整数である。極数「 $k$ 」が多くなりすぎると、「 $N$ 」極の幅が小さくなり、配向磁場方向に垂直方向では極が明確にならない場合がある。

## 【0048】

このうち磁石極数  $2n$  ( $n$  は 2 以上 50 以下の正の整数) に対し、ステータ歯数を  $3m$  ( $m$  は 2 以上 3~3' 以下の正の整数) とした際に、常に上記関係が維持され、回転むらのないモータを得ることができる。但し、 $2n \neq 3m$  である。特に、「径方向配向円筒磁石に多極着磁を行い、ステータ歯数を着磁極数の  $3^n$  倍としたものは、特に回転むらのない優れたモータ特性を有するモータを生産できる。」

【0049】本発明に係る円筒磁石に多極着磁を行ったものは、「ラジアル異方性」リング磁石に多極着磁を行った場合に比べ、「極間付近」の着磁性及び磁気特性が低いので磁束密度の極間部の変化が滑らかであり、「モータ」のコギングトルクは小さいが、スキューワン着磁又はステータ歯にスキューを施すことで、更にコギングトルクを低減することができる。「円筒磁石及びステータ歯のスキュー角度が、円筒磁石 1 極分の角度の  $1/10$  未満であるとスキュー着磁によるコギングトルク低下の効果が小さく、円筒磁石 1 極分の角度の  $2/3$  より大きいとモータのトルクの低下が大きくなるため、スキュー角度は円筒磁石 1 極分の角度の  $1/10$  ～  $2/3$  の角度が好ましく、特に  $1/10$  ～  $2/5$  の角度が好ましい。」

なお、本発明の永久磁石モータは、上記した構成とする以外は、公知の構成として製造し得る。

【0050】この場合、図 7 は円筒磁石の配向方向を図 8 に対して  $90^\circ$  回転させて着磁を行ったものであるが、図 9 に示されるように、円筒磁石の「N」極と「S」極の境界がラジアル方向に対し  $\pm 30^\circ$  以上傾いた方向に配向した部位の中央部 40 に対し、 $\pm 10^\circ$  以内にあることが好ましい。そして、このように設定した「N」極と「S」極との境界から周方向に互いに等間隔ずつ離間して「N」極と「S」極との境界を設けるように、「周方向に多極に着磁することが好ましい。一方、図 8 による着磁に比べ、図 7 による着磁は、「ラジアル方向からはずれた部位を「4」極（片面 2 極ずつ）で分担するため、コギングが少なく、トルクが上昇する。」

【0051】また、図 8 は、円筒磁石の配向方向を図 7 に対して  $90^\circ$  回転させて着磁を行う様子を示す着磁模式図である。図 7 に対して配向方向を  $90^\circ$  回転させて 6 極着磁を行った図 8 に示されるものは、「配向磁場方向付近」の「B」、「C」、「E」、「F」極からは比較的大きな磁束量が得られ、「A」、「D」極の配向方向に「垂直な方向」の部分では磁束量は小さくなる。図 7 及び 8 にて着磁した磁石を 2 段積みして  $90^\circ$  ずらして着磁してモータ用ローダ磁石とすると、図 7 で着磁した大きな磁束量の「A」、「D」が図 8 で着磁した場合は少ない磁束量となるため、合わせると図 7 での着磁ではやや小さな磁束量であるが、図 8 での着磁では比較的大きな磁束量が得られる「B」、「C」、「E」、「F」極とほぼ同じ磁束量となる。そのため、「各極間の磁束量のばらつきを低減することで、むらの無いスムーズな回転が行える。」

【0052】同様に、「水平磁場・垂直成形装置にて製造されるラジアルライクな配向を有する円筒磁石を輪切りにして円筒軸方向に 2 等分割し、一方に対しもう片方を徐々に回転させて段積みを行い、はじめは図 7 の配置で着磁されるが、徐々に向きが変わり、 $90^\circ$  回転後は図 8 の配置での着磁となる。これを次々に  $90^\circ$  まで回転させて段積みし、その後着磁をしていくと、「A」、「D」極では回転角が増えるにつれ徐々に総磁束量が減少し、「B」、「C」、「E」、「F」極では総磁束量は増加する。」

## 【0053】

このように該成形機にて製造されるラジアルライクな径方向配向円筒磁石を、軸方向に 2 段以上積み重ねて多極着磁を行うことにより、各極間の磁束量のばらつきを低減すること

ができる。モータとして用いた際のトルクむらを抑えることができる。なお、積層数の上限は特に制限はないが、10段程度が好ましい。

**[0054]** 分割した磁石の配向方向を相対的に所定の角度回転させで多段（2段以上）積みして多極着磁することにより、配向方向とこれに垂直な方向との磁束量のばらつきを均一化し、各極間の磁束量のばらつきを低減させることができる。このとき、積み重ねる各磁石の配向方向を  $180^\circ / i$  ( $i$  は積み重ね数)だけ角度をずらして積み重ね、多極着磁を行うことが好ましい。

**[0055]** また、分割数は配向方向を各極に均一に分布させるために、 $i = n/2$  段 ( $n$  は極数) とすることで、配向方向の磁束量の多い部分と、これに垂直な方向で磁束量の少ない部分とをそれぞれ各極に均一に分布でき、これを  $180^\circ / i$  だけ角度をずらして積み重ね、多極着磁することで各極の総磁束量を等しくすることができる。

**[0056]** なお、 $n$  は 4 ~ 50 の正の整数で、 $n$  が多くなると着磁間隔が狭くなり、十分な着磁が困難となるので、 $n$  は特に 4 ~ 30 が好ましい。

**[0057]** また、 $i$  は 2 ~ 10 の正の整数で、 $i$  が大きく積み重ね数が多くなると、コストが高くなるので、特に 2 ~ 6 が好ましい。

**[0058]** 水平磁場垂直成形装置により一方方向異方性を有する円筒磁石に多極着磁を行ったものは、ラジアル異方性リング磁石に多極着磁を行った場合に比べ、極間付近の着磁性及び磁気特性が低いので、磁束密度の極間部の変化が滑らかであり、モータのコギングトルクは小さい。  
なお、磁石をスキュー着磁するか、スベータ歯にスキューを施すことで更にコギングトルクを低減することができる。

**[0059]** スキュー角度は、磁石ステータとともに磁石 1 極分 ( $360^\circ/n$ ) の角度の  $1/10$  以下であるが、スキュー着磁によるコギングトルク低下の効果が小さく、 $2/3$  より大きいと、モータのトルクの低下が大きくなるため、スキュー角は、磁石 1 極分の角度の  $1/10 \sim 2/3$  の角度が好ましい。

**[0060]** 本発明の永久磁石式モータは、例えば図 1-10 に示したように、モータ、特に複数個のステータ歯を有するモータにロータとして上記の多段長尺多極着磁円筒磁石ロータを組み込めばよく、該の場合、該ステータ歯を有するモータの構成は公知のものとすることができる。

**[0061]** 【発明の効果】  
本発明のラジアル異方性焼結磁石は、内外径比の小さな形状においても焼結及び時効冷却時の割れ、クラックのない優れた磁石特性を有する。

**[0062]** 以下、実施例及び比較例を示し、本発明を具体的に説明するが、本発明は下記の実施例に制限されるものではない。

**[0063]** 【実施例 1】  
それ程純度 99.7 重量 % の Nd、Dy、Fe、Co、M (M は Al、Si、Cu) と、純度 99.5 重量 % の B を用い、Nd<sub>2.9</sub>Dy<sub>2.7</sub>Fe<sub>6.7</sub>Co<sub>3.1</sub>B<sub>1.2</sub>Al<sub>0.2</sub>Cu<sub>0.1</sub>Si<sub>0.1</sub> の合金を真空溶解炉で溶解鋳造してインゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブラウンミルで粗粉碎し、更に窒素気流中ジェットミル粉碎により平均粒径 3.5 μm の微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度 20 kG の強磁性

体 (S 50 C: Fe 鋼) コアを配置した水平磁場・垂直成形装置にて 8 kOe の磁場中において 0.5 t/cm<sup>2</sup> の成形圧にて成形した。このとき、磁石粉の充填密度は 2.5% であった。この成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 580°C で 1 時間の時効熱処理を行った。その後加工を行い、φ30 mm × ϕ25 mm × L30 mm の円筒磁石を得た。上記円筒磁石を図 7 の着磁機にて 6 极着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図 1' 0 に示す構成のステータ内に組み込んだモータを作製した。磁石内径にはモータ軸となる強磁性コアが挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ 15.0 ターン巻きとした。モータを 1000 rpm で回転させた際の誘起電圧及び同モータを 1~5 rpm で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。

【0064】実施例 1 は、上記の条件で得た磁石をモータに組み込んだ際の誘起電圧とトルクリップルを表す。

【実施例 2】実施例 1 と同様に、図 8 の着磁配置により着磁した以外は、実施例 1 と同じにして得た磁石を同様にモータに組み込んだ際の誘起電圧とトルクリップルの大きさを測定した。結果を表 1 に示す。

【表 1】

実施例番号	誘起電圧 [V]	トルクリップル [Nm]
実施例 1(図 7 の着磁配置)	47	0.076
実施例 2(図 8 の着磁配置)	43	0.182

【0065】実施例 1 は、上記の条件で得た磁石をモータに組み込んだ際の誘起電圧とトルクリップルを表す。

【実施例 3】実施例 1 と同様に、図 2 の着磁配置により着磁した以外は、実施例 1 と同じ条件で得た磁石をモータに組み込みモータ特性を測定した。コア断面積の 60% の面積を占める飽和磁束密度 1.8 kG の強磁性体 (S-K 5: Fe 鋼) コアをコア外周と同心円状に配置し、残りは非磁性材で作成したコアを用い、その他は実施例 1 と同様にして作製した円筒磁石をモータに組み込み、モータ特性を測定した。

【0066】

【実施例 4】実施例 1 と同様に、図 2 の着磁配置により着磁した以外は、実施例 1 と同じ成形機を用い、発生磁場を 6 kOe とし、他は実施例 1 の条件で磁石を作製し、モータに組み込みモータ特性を測定した。

【0067】

【比較例 1】

実施例 1 と同様の磁石粉を用い、図 2 に示される垂直磁場・垂直成形装置を用い、コイルの発生磁界 210 kOe で磁石粉充填深さ 30 mm とし、磁場中成形後の成形体を下方に移動させ、成形体の上に先ほどと同様に 30 mm 磁石粉を乗せ、磁場中成形後の磁石を実施例 1 と同様の条件で焼結時効を行い、φ30 mm × ϕ25 mm × L30 mm の円筒磁石を得た。これをモータに組み込みモータ特性を測定した。

【0068】

【比較例 2】実施例 1 と同様に、図 2 の着磁配置により着磁した以外は、実施例 1 と同じ条件で得た磁石をモータに組み込みモータ特性を測定した。

【0069】

【比較例 3】実施例 1 と同様に、図 2 の着磁配置により着磁した以外は、実施例 1 と同じ条件で得た磁石をモータに組み込みモータ特性を測定した。

【0070】

【実施例 5】図 5 に示すように、非磁性体 (非磁性超硬材 WC-Ni-Co) をダイス内角度 30° の部分で 2 個対称になるよう配置して (トータル 60°)、その他は比較例 1 と同様な条件で磁石を作製し、同様にモータ特性を測定した。

【0071】

偏光顕微鏡観察により、ラジアル配向に対し、 $30^\circ$ 以上傾いた部分の体積（配向乱れ体積）を算出し、表2に示す。また、これらの円筒磁石をそれぞれの条件で100個製造した際の割れの数もあわせて記載する。

## 【0072】

【表2】

誘起電圧 [V]	トルクリップル [Nm]	$30^\circ$ 以上の乱れ [体積%]	割れ発生数 個/100個
実施例1 47	0.076	37	0
実施例3 44	0.069	42	0
実施例4 52	0.082	30	0
実施例5 43	0.061	17	2
比較例1 50	0.077	2	82
比較例2 35	0.053	66	0
比較例3 37	0.064	58	0

【0073】上記の実験結果より、本発明の円筒磁石は、従来の円筒磁石と比較して、表2より、実施例は大きな起電力が得られ、かつトルクリップルが小さく、クラックの発生がないためモータ用磁石として優れた特性を有する磁石の量産化に有効である。

## 【0074】

また、実施例4の条件で作製した磁石を偏光顕微鏡観察した結果を図13、14、15に示す。即ち、図13、14、15は強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石において、配向磁場方向に対し、 $30^\circ$ 方向、 $60^\circ$ 方向、 $90^\circ$ 方向での磁石の配向の様子を示したもので、これらからわかるように本発明による円筒磁石では、配向磁場方向に対し $60^\circ$ 方向で初めてラジアル方向とのずれが $30^\circ$ となり、これより $30^\circ$ 体積%で $30^\circ$ 以上ずれていることがわかる。

## 【0075】

【実施例6～9、参考例1】

それぞれ純度99.7重量%のNd、Dy、Fe、Co、M（MはAl、Si、Cu）と純度99.5重量%のBを用い、 $\text{Nd}_{2.9}\text{Dy}_{2.15}\text{Fe}_{6.3}\text{Co}_{0.3}\text{B}_{1.1}\text{Al}_{0.13}\text{Si}_{0.3}\text{Cu}_{0.1}$ の合金を真空溶解炉で溶解铸造してインゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブラウンミルで粗粉砕し、更に窒素気流中ジェットミル粉砕により平均粒径3.5 μmの微粉末を得た。この粉末を図1に示すような飽和磁束密度20kGの鉄製の強磁性体コアを配置した水平磁場垂直成形装置にて、コイルの発生磁場4kOeの磁場中において配向させた後、実施例6として、コイルを $90^\circ$ 回転させ、次いで同様に4kOeの磁場中において再び配向させ、 $1.0\text{t}/\text{cm}^2$ の成形圧にて成形した以外は実施例6と同様に成形した。

## 【0076】

実施例7としては、水平磁場垂直成形装置にてコイルの発生磁場4kOeの磁場中において配向させた後、ダイスとコア及びパンチを $90^\circ$ 回転させ、次いで同様に4kOeの磁場中において再び配向させ、 $1.0\text{t}/\text{cm}^2$ の成形圧にて成形した以外は実施例6と同様に成形した。

## 【0077】

実施例8としては、水平磁場垂直成形装置にてコイルの発生磁場4kOeの磁場中において

て配向させた後、残留磁化 4 k G のコアを 90° 回転させた。このときの磁石粉の残留磁化は 800 G であった。次いで同様に 4 k Oe の磁場中において再び配向させ、その後、 $1.0 \text{ t/cm}^2$  の成形圧にて成形した以外は実施例 6 と同様に成形した。

#### 【0078】

これらの成形体は Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 580°C で 1 時間の時効熱処理を行った。その後、加工を行い、 $\phi 24 \text{ mm} \times \phi 19 \text{ mm} \times L 30 \text{ mm}$  の円筒磁石を得た。なお、本円筒磁石と同一磁石粉を用い、水平磁場垂直成形装置にて 12 k Oe の磁場中において  $1.0 \text{ t/cm}^2$  の成形圧にて成形し、Ar ガス中 1090°C で 1 時間焼結を行い、引き続き 580°C で 1 時間の熱処理をして本円筒磁石と同一条件で作製したブロック磁石の特性は、Br : 12.5 k G、IHc : 15.5 k Oe、(B/H) max : 36 MG Oe であった。上記の円筒磁石を、図 7 に示す着磁機にて 6 極、20° でスキュー着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図 1.0 に示す構成のステータ内に組み込んだモータを作製した。また、上記実施例のモータを 5000 rpm で回転させた際の誘起電圧及び同モータを 5 rpm で回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。更に、上記と同様に成形・焼結、熱処理して得た円筒磁石を図 8 の着磁機にて着磁し、モータに組み込んで、誘起電圧及びトルクリップルを測定した（実施例 8 a）。表 3 に誘起電圧の絶対値の最大及びトルクリップルの最大最小の差を示す。

#### 【0079】

実施例 9 として、実施例 6 と同じ水平磁場垂直成形装置を用い、12 k Oe の磁場中において 90° 回転させながら配向を行い、 $1.0 \text{ t/cm}^2$  の成形圧にて成形した。他は実施例 6 と同様にして作製した磁石を用いたモータのモータ特性を測定した。

#### 【0080】

一方、参考例 1 として、実施例 6 において 4 k Oe の磁場で配向させた際、回転させずそのまま磁界中  $1.0 \text{ t/cm}^2$  の成形圧にて成形した。他は実施例 6 と同様にして作製した磁石を用いたモータのモータ特性を測定した。これらの結果を表 3 に示す。

#### 【0081】

【表 3】

	誘起電圧(実効値) [mV/rpm]	トルクリップル [Nm]
実施例6	18.7	8.7
実施例7	18.6	8.7
実施例8	18.7	8.7
実施例8a	16.2	10.3
実施例9	18.4	12.8
参考例1	14.1	7.8

#### 【0082】

表 3 より、参考例に対し実施例ではトルクに相応する誘起電圧が大きく改善されており、本発明がモータ用磁石の製造方法として優れた方法であることがわかる。

#### 【0083】

なお、実施例 6 の着磁後のロータ磁石の表面磁束を測定した結果は図 1.1 と同様の結果で、各極が均一化しており、かつ極の面積が大きくなっている、実施例は大きな磁場が均一に発生できることがわかる。

## 【0084】

## 【実施例10】

それぞれ純度99.7重量%のNd、Dy、Fe、Co、M.(MはAl、Si、Cu)など純度99.5重量%のBを用いてNd<sub>2</sub>0.9Dy<sub>2</sub>0.5Fe<sub>6.4</sub>Co<sub>3</sub>B<sub>0.1</sub>Al<sub>0.2</sub>Si<sub>0.2</sub>Cu<sub>0.1</sub>の合金を真空溶解炉で溶解铸造してインゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブランシルで粗粉碎し、更に窒素気流中ジェットミル粉碎により平均粒径3~5μmの微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度2.0kGのFe製の強磁性体コアを配置した図1に示す水平磁場垂直成形装置にて10kOeの磁場中において1.0t/cm<sup>2</sup>の成形圧にて成形した。この成形体はArガス中1090°Cで1時間焼結を行い、引き続き580°Cで1時間の熱処理を行った。その後加工を行い、Φ30mm×Φ25mm×L30mmの円筒磁石を得た。本円筒磁石と同一磁石粉を用い、水平磁場垂直成形装置にて10kOeの磁場中において1.0t/cm<sup>2</sup>の成形圧にて成形し、Arガス中1090°Cで1時間焼結を行い、引き続き580°Cで1時間の熱処理をして、本円筒磁石と同一条件で作製したプロック磁石の特性は、Br':1.310kG、(BH)<sub>m</sub>:15kOe、(BH)<sub>m</sub>a'x:440MG Oeであった。

## 【0085】

上記の径方向配向円筒磁石を、着磁機にて6極着磁し、着磁後の磁石を磁石と同一高さの図10に示す構成の9個のステータ内に組み込んだモータを作製した。磁石内径にはモータ軸となる強磁性コアが挿入接着されている。銅細線を各歯それぞれ100ターン巻きとした。U-V相間の磁束量をフラックスメータを用いて測定した。

## 【0086】

## 【比較例4】

本ステータ歯のうちの一つだけに実施例10と同じ銅細線を100ターン巻き、磁束量をフラックスメータにて測定した。磁石を1周させたときのピークの値を表4に示す。表に示されるように、比較例ではピークによる磁束量が小さいピークに対し大きなピークでは1.5倍程度と非常に大きいにもかかわらず、実施例10ではピーク値がほとんど変わらない。

## 【0087】

## 【実施例11】

コア断面積の60%の面積を占める飽和磁束密度1.8kGの強磁性体をコア外周と同心円状に配置し、残りは非磁性体材で作製したコアを用いた。その他は実施例10と同様にして作製したモータのU-V相間の磁束量を測定した。

## 【0088】

## 【比較例5】

非磁性体（非磁性超硬材WC-Ni-Co）をコア材に用いた他は実施例10と同様にして作製したモータのU-V相間の磁束量を測定した。

## 【0089】

## 【比較例6】

Fe製の強磁性体コアの飽和磁束密度を2kGとした他は実施例1.0と同様にして作製したモータのU-V相間の磁束量を測定した。配置した際のモータのU-V相間の磁束量をそれらフックスメータを用いて測定した。

これらの結果を表4に示す。

## 【0090】

## 【表4】

	ピーク1 [kMx]	ピーク2 [kMx]	ピーク3 [kMx]	ピーク4 [kMx]	ピーク5 [kMx]	ピーク6 [kMx]
実施例 10	-38.2	38.3	-38.5	38.7	-38.6	38.4
実施例 11	-36.9	36.7	-36.5	36.9	-37	36.7
比較例 4	-41.2	27.5	-26.8	40.8	-27.1	-26.7
比較例 5	-30.5	30.2	-30.4	30.6	-30.2	30.3
比較例 6	-31.8	31.7	-31.9	31.9	-31.5	32

〔0091〕本発明は、上記の如きの外、被覆子午線磁石を用いたモータの構成、動作方法等に関するものである。

〔0091〕本発明は、主として、モーターの構成、動作方法等に関するものである。

〔0091〕〔実施例1-2〕〔参考例2〕〔実施例1-3〕〔実施例1-4〕〔実施例1-5〕〔実施例1-6〕〔実施例1-7〕〔実施例1-8〕〔実施例1-9〕〔実施例1-10〕〔実施例1-11〕〔実施例1-12〕〔実施例1-13〕〔実施例1-14〕〔実施例1-15〕〔実施例1-16〕〔実施例1-17〕〔実施例1-18〕〔実施例1-19〕〔実施例1-20〕〔実施例1-21〕〔実施例1-22〕〔実施例1-23〕〔実施例1-24〕〔実施例1-25〕〔実施例1-26〕〔実施例1-27〕〔実施例1-28〕〔実施例1-29〕〔実施例1-30〕〔実施例1-31〕〔実施例1-32〕〔実施例1-33〕〔実施例1-34〕〔実施例1-35〕〔実施例1-36〕〔実施例1-37〕〔実施例1-38〕〔実施例1-39〕〔実施例1-40〕〔実施例1-41〕〔実施例1-42〕〔実施例1-43〕〔実施例1-44〕〔実施例1-45〕〔実施例1-46〕〔実施例1-47〕〔実施例1-48〕〔実施例1-49〕〔実施例1-50〕〔実施例1-51〕〔実施例1-52〕〔実施例1-53〕〔実施例1-54〕〔実施例1-55〕〔実施例1-56〕〔実施例1-57〕〔実施例1-58〕〔実施例1-59〕〔実施例1-60〕〔実施例1-61〕〔実施例1-62〕〔実施例1-63〕〔実施例1-64〕〔実施例1-65〕〔実施例1-66〕〔実施例1-67〕〔実施例1-68〕〔実施例1-69〕〔実施例1-70〕〔実施例1-71〕〔実施例1-72〕〔実施例1-73〕〔実施例1-74〕〔実施例1-75〕〔実施例1-76〕〔実施例1-77〕〔実施例1-78〕〔実施例1-79〕〔実施例1-80〕〔実施例1-81〕〔実施例1-82〕〔実施例1-83〕〔実施例1-84〕〔実施例1-85〕〔実施例1-86〕〔実施例1-87〕〔実施例1-88〕〔実施例1-89〕〔実施例1-90〕〔実施例1-91〕〔実施例1-92〕〔実施例1-93〕〔実施例1-94〕〔実施例1-95〕〔実施例1-96〕〔実施例1-97〕〔実施例1-98〕〔実施例1-99〕〔実施例1-100〕〔実施例1-101〕〔実施例1-102〕〔実施例1-103〕〔実施例1-104〕〔実施例1-105〕〔実施例1-106〕〔実施例1-107〕〔実施例1-108〕〔実施例1-109〕〔実施例1-110〕〔実施例1-111〕〔実施例1-112〕〔実施例1-113〕〔実施例1-114〕〔実施例1-115〕〔実施例1-116〕〔実施例1-117〕〔実施例1-118〕〔実施例1-119〕〔実施例1-120〕〔実施例1-121〕〔実施例1-122〕〔実施例1-123〕〔実施例1-124〕〔実施例1-125〕〔実施例1-126〕〔実施例1-127〕〔実施例1-128〕〔実施例1-129〕〔実施例1-130〕〔実施例1-131〕〔実施例1-132〕〔実施例1-133〕〔実施例1-134〕〔実施例1-135〕〔実施例1-136〕〔実施例1-137〕〔実施例1-138〕〔実施例1-139〕〔実施例1-140〕〔実施例1-141〕〔実施例1-142〕〔実施例1-143〕〔実施例1-144〕〔実施例1-145〕〔実施例1-146〕〔実施例1-147〕〔実施例1-148〕〔実施例1-149〕〔実施例1-150〕〔実施例1-151〕〔実施例1-152〕〔実施例1-153〕〔実施例1-154〕〔実施例1-155〕〔実施例1-156〕〔実施例1-157〕〔実施例1-158〕〔実施例1-159〕〔実施例1-160〕〔実施例1-161〕〔実施例1-162〕〔実施例1-163〕〔実施例1-164〕〔実施例1-165〕〔実施例1-166〕〔実施例1-167〕〔実施例1-168〕〔実施例1-169〕〔実施例1-170〕〔実施例1-171〕〔実施例1-172〕〔実施例1-173〕〔実施例1-174〕〔実施例1-175〕〔実施例1-176〕〔実施例1-177〕〔実施例1-178〕〔実施例1-179〕〔実施例1-180〕〔実施例1-181〕〔実施例1-182〕〔実施例1-183〕〔実施例1-184〕〔実施例1-185〕〔実施例1-186〕〔実施例1-187〕〔実施例1-188〕〔実施例1-189〕〔実施例1-190〕〔実施例1-191〕〔実施例1-192〕〔実施例1-193〕〔実施例1-194〕〔実施例1-195〕〔実施例1-196〕〔実施例1-197〕〔実施例1-198〕〔実施例1-199〕〔実施例1-200〕〔実施例1-201〕〔実施例1-202〕〔実施例1-203〕〔実施例1-204〕〔実施例1-205〕〔実施例1-206〕〔実施例1-207〕〔実施例1-208〕〔実施例1-209〕〔実施例1-210〕〔実施例1-211〕〔実施例1-212〕〔実施例1-213〕〔実施例1-214〕〔実施例1-215〕〔実施例1-216〕〔実施例1-217〕〔実施例1-218〕〔実施例1-219〕〔実施例1-220〕〔実施例1-221〕〔実施例1-222〕〔実施例1-223〕〔実施例1-224〕〔実施例1-225〕〔実施例1-226〕〔実施例1-227〕〔実施例1-228〕〔実施例1-229〕〔実施例1-230〕〔実施例1-231〕〔実施例1-232〕〔実施例1-233〕〔実施例1-234〕〔実施例1-235〕〔実施例1-236〕〔実施例1-237〕〔実施例1-238〕〔実施例1-239〕〔実施例1-240〕〔実施例1-241〕〔実施例1-242〕〔実施例1-243〕〔実施例1-244〕〔実施例1-245〕〔実施例1-246〕〔実施例1-247〕〔実施例1-248〕〔実施例1-249〕〔実施例1-250〕〔実施例1-251〕〔実施例1-252〕〔実施例1-253〕〔実施例1-254〕〔実施例1-255〕〔実施例1-256〕〔実施例1-257〕〔実施例1-258〕〔実施例1-259〕〔実施例1-260〕〔実施例1-261〕〔実施例1-262〕〔実施例1-263〕〔実施例1-264〕〔実施例1-265〕〔実施例1-266〕〔実施例1-267〕〔実施例1-268〕〔実施例1-269〕〔実施例1-270〕〔実施例1-271〕〔実施例1-272〕〔実施例1-273〕〔実施例1-274〕〔実施例1-275〕〔実施例1-276〕〔実施例1-277〕〔実施例1-278〕〔実施例1-279〕〔実施例1-280〕〔実施例1-281〕〔実施例1-282〕〔実施例1-283〕〔実施例1-284〕〔実施例1-285〕〔実施例1-286〕〔実施例1-287〕〔実施例1-288〕〔実施例1-289〕〔実施例1-290〕〔実施例1-291〕〔実施例1-292〕〔実施例1-293〕〔実施例1-294〕〔実施例1-295〕〔実施例1-296〕〔実施例1-297〕〔実施例1-298〕〔実施例1-299〕〔実施例1-300〕〕

〔0092〕

〔実施例1-3〕〔参考例2〕〔実施例1-4〕〔実施例1-5〕〔実施例1-6〕〔実施例1-7〕〔実施例1-8〕〔実施例1-9〕〔実施例1-10〕のモータを1000 r.p.mで回転させた際の誘起電圧及び同モータを1.50 r.p.mで回転させた際の荷重計によるトルクリップルの大きさを測定した。(表5に誘起電圧の絶対値の最大及びトルクリップルの最大最小の差を示す。表5より日本モータは使用上十分な誘起電圧量を有し、十分小さなトルクリップルであることがわかる。)

〔0093〕

〔参考例2〕〔実施例1-3〕〔実施例1-4〕〔実施例1-5〕〔実施例1-6〕〔実施例1-7〕〔実施例1-8〕〔実施例1-9〕〔実施例1-10〕の径方向配向円筒磁石を着磁する際、スキュー角度を磁石1極分の角度の1/3の24.0°でスキュー着磁を行い、該磁石を実施例1-10のモータに組み込み、実施例1-12と同様に誘起電圧及びトルクリップルを測定した値を表5に示す。(表5よりトルクリップルの量がスキュー無し品より更に小さく、誘起電圧の低下はわずかであることがわかる。)

〔0094〕

〔実施例1-4〕〔参考例2〕〔実施例1-5〕〔実施例1-6〕〔実施例1-7〕〔実施例1-8〕〔実施例1-9〕〔実施例1-10〕の径方向配向円筒磁石を実施例1-10と同様に着磁し、スキュー角度が磁石1極分の角度の1/3の20°であるステータ歯をもつ実施例1-10と同寸法のモータに組み込み、実施例1-12と同様に誘起電圧及びトルクリップルを測定した値を表5に示す。表5より、トルクリップルの量がスキュー無し品より更に小さく、誘起電圧の低下はわずかであることがわかる。

〔0095〕

〔表5〕

	誘起電圧 [V]	トルクリップル [Nm]
実施例 12	60	0.08
実施例 13	55	0.021
実施例 14	54	0.027
参考例 2	12	0.017

〔0096〕

〔実施例1-5〕

それぞれ純度99.7重量%のNd、Dy、Fe、Co、M(MはAl、Si、Cu)と純度99.5重量%のBを用い、Nd<sub>2</sub> Dy<sub>2</sub> Fe<sub>6</sub> Co<sub>3</sub> B<sub>1</sub> Al<sub>0.2</sub> Si<sub>0.2</sub> Cu<sub>0.1</sub>の合金を真空溶解炉で溶解鋳造し、インゴットを作製した。このインゴットをジョウクラッシャー及びブラウンミルで粗粉砕し、更に、窒素気流中でのジェット

ミル粉碎により平均粒径 $3\sim5\mu\text{m}$ の微粉末を得た。この粉末を飽和磁束密度 $2.0\text{ kG}$ のFe製の強磁性体コアを配置した図1に示す如き水平磁場垂直成形装置にて $6\text{ kOe}$ の磁場中において $1\sim0\text{ t}/\text{cm}^2$ の成形圧にて成形した。この成形体は、Arガス中 $1090^\circ\text{C}$ で1時間焼結を行い、引き続き $580^\circ\text{C}$ で1時間の熱処理を行った。その後、加工して外径 $30\text{ mm}$ 、内径 $25\text{ mm}$ 、厚さ $15\text{ mm}$ の円筒磁石を得た。

## 【0097】

実施例1・5は、作製した円筒磁石を、配向方向を $60^\circ$ ずらして積み重ね、1段目の磁石配向方向が図8の関係（極AがN極となる）になるように配置し、6極着磁3段積みを行った。

## 【0098】

【実施例1・6】  
実施例1・6は、ずらし角を $90^\circ$ とし、実施例1・5と同様に6極着磁2段積みを行った。

## 【0099】

【参考例3】

実施例1・5と同じ磁石粉末を用い、成形体高さを変え、段積みをしないこと以外は実施例1・5と同じ条件で外径 $30\text{ mm}$ 、内径 $25\text{ mm}$ 、厚さ $30\text{ mm}$ の円筒磁石を作製し、6極着磁を行った。

## 【0100】

【実施例1・7】

実施例1・5と同じ磁石粉末を用い、同一条件で外径 $30\text{ mm}$ 、内径 $25\text{ mm}$ 、厚さ $10\text{ mm}$ の円筒磁石を作製し、配向方向を $60^\circ$ ずらして、3段積み重ね、各段の円筒磁石の配向方向がそれぞれ図7の配置になるようにして6極着磁を行った。この様子を図1・6に示す。図中の大矢印は、円筒磁石の各段の配向時の磁場方向を示している。なお、符号3・3はモータロータ軸である。

## 【0101】

これらの磁石を評価するために、横 $10\text{ mm}$ 、縦 $5\text{ mm}$ 、縦 $30\text{ mm}$ の四角形に銅細線を $50\text{-ターン}$ 巻き、コイルを作製した。このコイルを円筒磁石に接した状態から磁石の磁力の影響を受けない遠方まで遠ざけ、この間のコイルを横切る磁束量を円筒磁石の外周方向にフランクスメータを用いて測定し、ピーク値を表6に示す。

## 【0102】

【表6】

	ピーク1 [kMx]	ピーク2 [kMx]	ピーク3 [kMx]	ピーク4 [kMx]	ピーク5 [kMx]	ピーク6 [kMx]
実施例15 ずらし角 $60^\circ$ 3段重ね	10.17	-11.03	13	-10.15	11.1	-13.12
実施例16 ずらし角 $90^\circ$ 2段重ね	11.5	-10.71	11.45	-11.42	10.66	-11.44
実施例17 ずらし角 $60^\circ$ 3段重ね	12.01	-11.95	11.96	-12.04	11.99	-11.98
参考例3 段積みなし	9.01	-9.07	13.52	-8.98	9.12	-13.49

## 【0103】

【実施例18、19、参考例4、比較例7】

図10は、9個のモータステータ端3-1を有する3相の永久磁石モータ3-0の平面図を示す。

したものである。着磁した円筒磁石をこの磁石と同一高さのステータ内に組み込んでモータを作製した。円筒磁石の内径部にはモータ軸となる強磁性コアが挿入接着されている。各ティースに銅細線をそれぞれ 150 ダージ巻きした。このモータを 1000 r.p.m. で回転させ、このときの誘起電圧の絶対値の最大で、かつ 1~5 r.p.m. で回転させ、荷重計を用いてトルクリップルの大きさを測定した。

## 【0104】

ここで、実施例 18 は、実施例 16 と同様にずらし角 9.0° で磁石を 2 段に重ね合わせ、「スキューア」角を磁石 1 極分の角度の  $1/3$  の 2.0° でスキューコンタクトを行い、この磁石をモータに組み込んだものである。

## 【0105】

実施例 19 は、実施例 17 と同じ寸法の円筒磁石を用い、図 16 に示すようにずらし角 6.0° で磁石を 3 段に重ねてスギューコンタクトに着磁し、「スキューア」角が磁石 1 極分の角度の  $1/3$  の 2.0° であるスキューステータ歯を有するモータに組み込んだものである。

## 【0106】

また、段積みをしない円筒磁石を参考例 4 と同じ寸法で作製して成形機に配慮し、その他は実施例 15 と同様に磁石を作製し、これを実施例 18 と同様にしてモータに組み込み、比較例 7 とした。これらの誘起電圧、トルクリップルを測定し、誘起電圧とともにトルクリップルの最大最小の差を表 7 に示した。

【0107】表 7 から、各実施例は実用に十分耐える誘起電圧を有し、トルクリップルも十分小さいが、参考例 4 はトルクリップルが大きいことが認められる。比較例 7 は誘起電圧が低く、実用に適さない。

## 【0108】

【参考例 5】  
実施例 18 の径方向配向円筒磁石を着磁する際、「スキューア」角 磁石 1 極分の角度の  $5/6$  の 5.0° でスキューコンタクトを行い、この磁石を図 10 のモータに組み込み、実施例 18 と同様にして誘起電圧及びトルクリップルを測定し、表 7 に示した。

## 【0109】

表 7 から、トルクリップルの量は小さいが、誘起電圧の低下が大きく実用に適さないことが認められる。

## 【0110】

【実施例 20、参考例 6】  
実施例 15 の Nd 磁石合金を用いて、水平磁場垂直成形法により一軸配向のリング磁石を作製した。磁石寸法は外径 25 mm、内径 20 mm、厚さ 15 mm である。配向方向を 60° ずつ変化させながら 6 段積み重ねて 6 極にストレート着磁し磁石ロータを作製した。これを 7° のスキューア角のステータに組み込みモータにした。

## 【0111】

更に参考例 6 として、実施例 20 と同じ磁石を用いて配向方向を一方向にそろえ、6 極にストレート着磁し磁石ロータを作製した。これを無スキューコンタクトのステータに組み込みモータにした。これらにおいて誘起電圧とともにトルクリップルを測定した。

## 【0112】

その結果は、表 7 に示したとおりであり、実施例 20 では参考例 6 に比べてトルクリップルが大きく低下しており、本発明による磁石の配向方向分散の効果が顕著であることがわかる。

## 【0113】

## 【表 7】

	誘起電圧 [V]	トルクリップル [Nm]
実施例 18	92	0.028
実施例 19	100	0.021
実施例 20	156	0.08
参考例 4	92	0.135
比較例 7	50	0.024
参考例 5	13	0.015
参考例 6	145	0.432

出

10

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置の一実施例を示す説明図であり、(a)は平面図、(b)は縦断面図である。

【図 2】ラジアル異方性円筒磁石を製造する際に使用する従来の垂直磁場垂直成形装置を示す説明図であり、(a)は縦断面図、(b)は(a)図におけるA-A'線の断面図である。

【図 3】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置で磁場発生時の磁力線の様子を模式的に示す説明図であり、(a)は本発明に係る成形装置の場合、(b)は従来の成形装置の場合である。

【図 4】円筒磁石を製造する際に使用する水平磁場垂直成形装置の他の実施例を示す説明図であり、(a)は平面図、(b)は縦断面図である。

【図 5】ラジアル異方性円筒磁石を製造する際に使用するダイス部に一部非磁性材を配置した垂直磁場垂直成形装置を示す説明図であり、(a)は図2(b)と同様の断面図、(b)は(a)図におけるB1~B4部の拡大図である。

【図 6】円筒磁石を製造する際に使用する成形装置で、回転式水平磁場垂直成形装置の一例を示す説明図である。

【図 7】着磁機を用いて円筒磁石の着磁を行う様子を示す着磁模式図である。

【図 8】着磁機を用いて円筒磁石の着磁を行う様子を示す着磁模式図で、円筒磁石の配向方向を図7に対してA90°回転させて着磁を行う様子を示す。

【図 9】円筒磁石のN極とS極との境界を説明する平面図である。

【図 10】6極に多極着磁した円筒磁石と9個のステータ歯を組み合わせた3相モータの平面図を示したものである。

【図 11】本発明に係る水平磁場垂直成形装置により作製したNd-Fe-B系円筒磁石に6極着磁を行った際の表面磁束密度を示した図である。

【図 12】従来の水平磁場垂直成形装置(コア材として非磁性材を使用)により作製したNd-Fe-B系円筒磁石に6極着磁を行った際の表面磁束密度を示した図である。

【図 13】円筒磁石を製造する際に使用する強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石の配向磁場方向に対し、30°方向での磁石の配向を示す顕微鏡写真である。

【図 14】円筒磁石を製造する際に使用する強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石の配向磁場方向に対し、60°方向での磁石の配向を示す顕微鏡写真である。

【図 15】円筒磁石を製造する際に使用する強磁性材をコアとして用いた水平磁場垂直成形装置により作製された磁石の配向磁場方向に対し、90°方向での磁石の配向を示す顕微鏡写真である。

【図 16】径方向配向円筒磁石を各60°ずらして3段に積層した本発明の永久磁石式モータ用ロータを示す斜視図である。

【符号の説明】

20

30

40

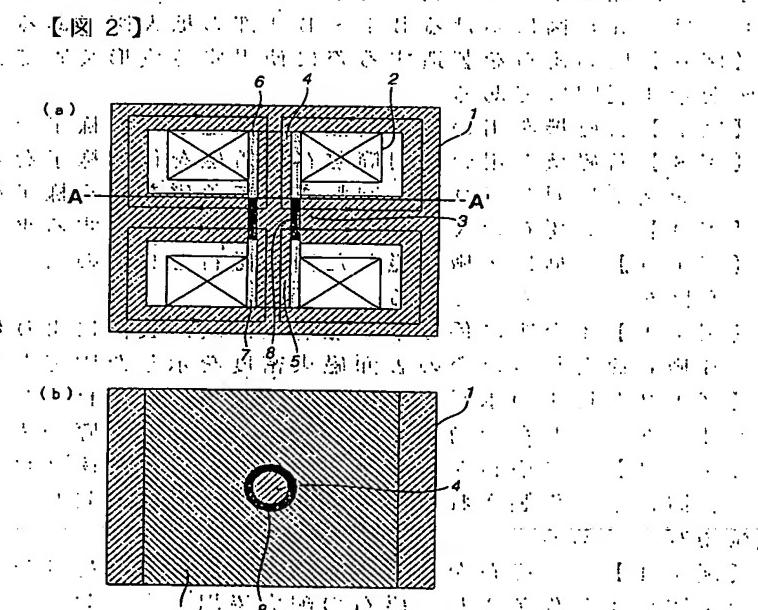
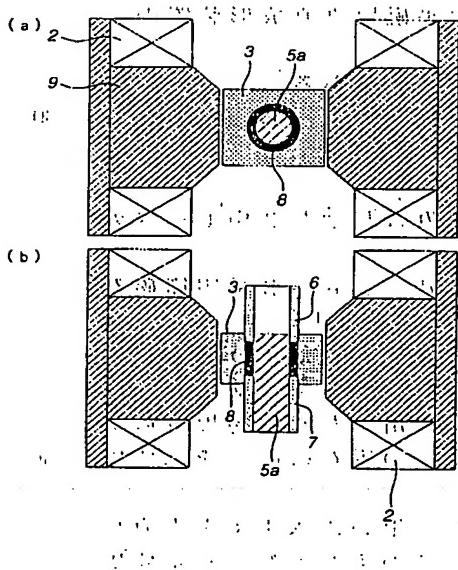
50

- 1 成形機架台  
 2 配向磁場コイル  
 3 ダイス  
 4 コア  
 5 コア  
 5 a コア  
 5 a' 弱い強磁性体超硬合金部  
 6 上パンチ  
 7 下パンチ  
 8 充填磁石粉  
 9 ポールピース  
 10 ダイス非磁性体  
 11 パーメンジュール  
 21 門筒磁石  
 22 着磁機  
 23 着磁機磁極板  
 24 着磁機コイル  
 30 3相モータ  
 31 斜元歯  
 32 ゴイル  
 33 モータロータ軸



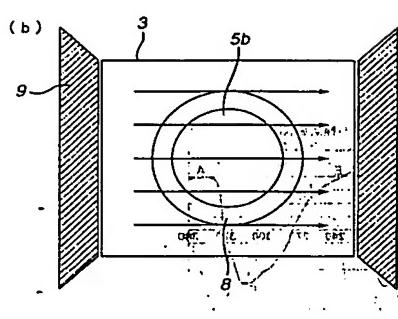
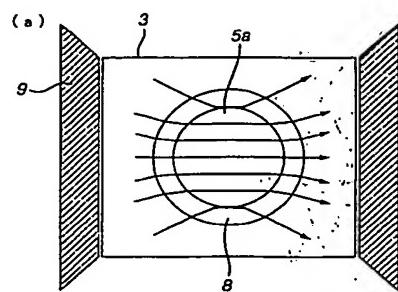
10

【図1】

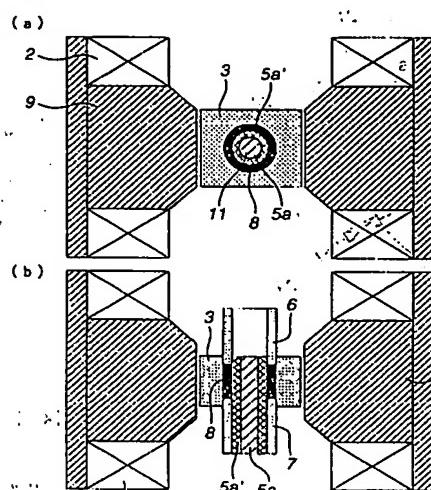


在本発明の成形機は、成形機架台(1)上に設けられた成形機構造部(10)を有する。成形機構造部(10)は、成形機架台(1)上に設けられた成形機構造部(10)を有する。成形機構造部(10)は、成形機架台(1)上に設けられた成形機構造部(10)を有する。

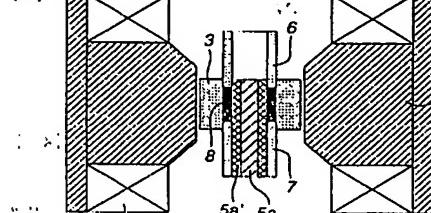
【図 3】



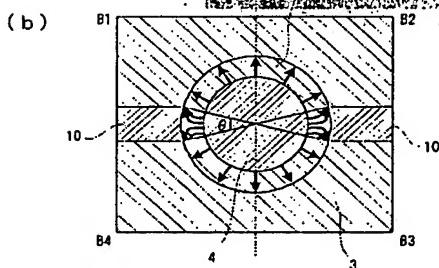
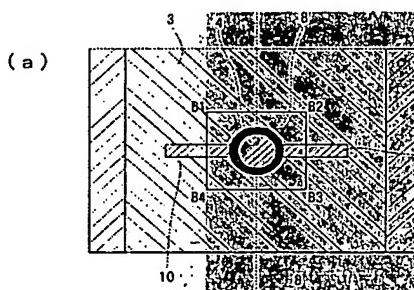
【図 4】



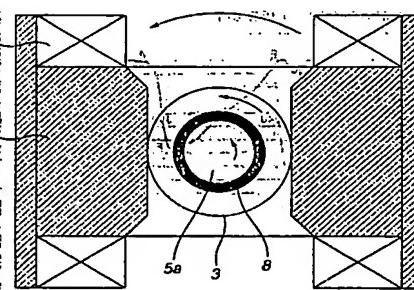
(b)



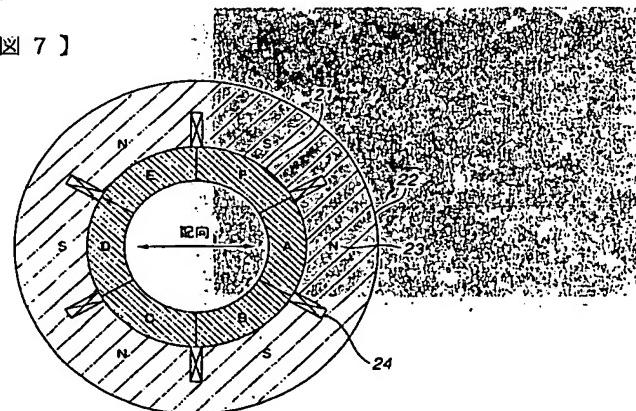
【図 5】



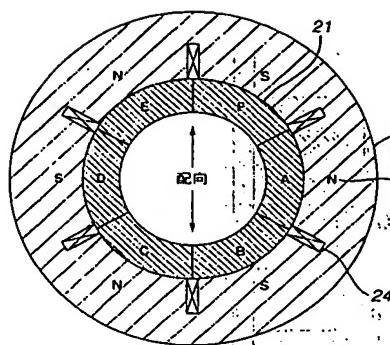
【図 6】



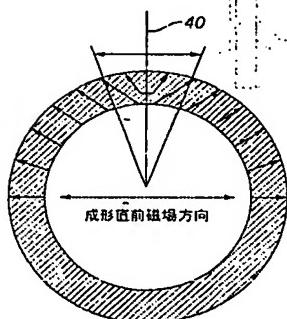
【図 7】



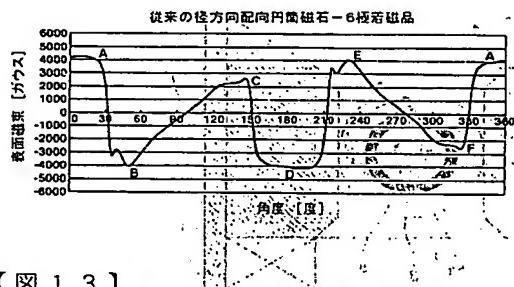
〔図 8〕



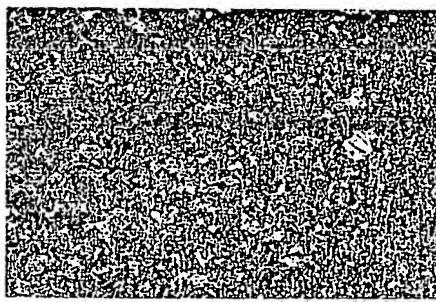
〔圖9〕



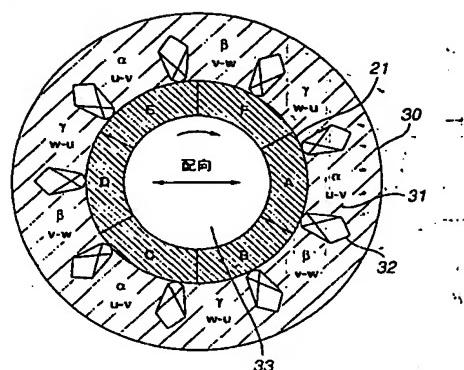
【図 1 2】



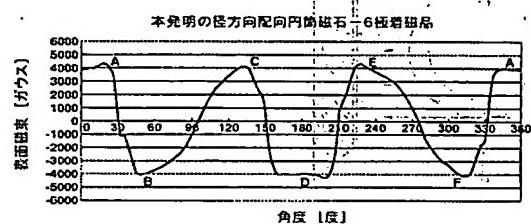
【図 1 3】



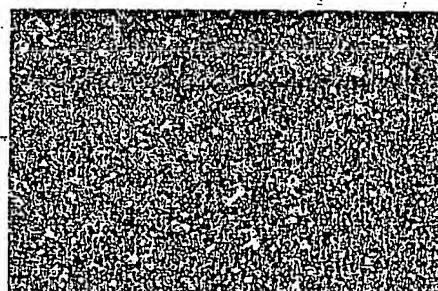
〔図10〕



【 1 1 】

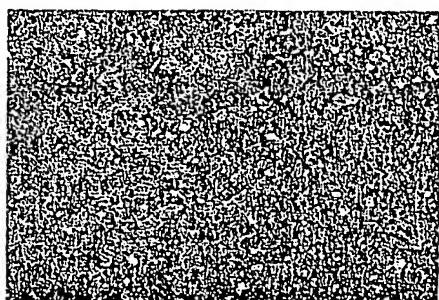


〔 図 1 4 〕



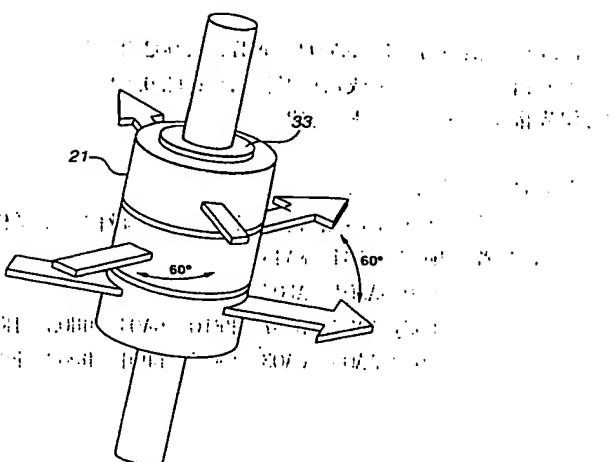
{ } ]

【図15】



ラジアル方向  
配向方向

【図16】



## フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願2002-259477 (P2002-259477)

(32) 優先日 平成14年9月5日 (2002. 9. 5)

(33) 優先権主張国 日本国(JP)

(72) 発明者 美濃倫 武久

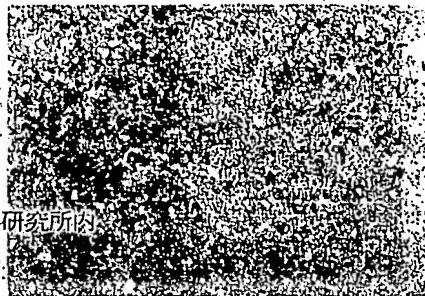
福井県武生市北府 2-1-5 信越化学工業株式会社磁性材料研究所内

F ターム(参考) 4K018 CA04 KA45

5H002 AA01 AE07

5H621 AA02 BB07 BB10 CA04 HH03 JK03

5H622 AA03 CA03 CA05 DD01 DD02 PP11 QA02 QB03



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER: \_\_\_\_\_**

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**